

# TABLE DES MATIERES

<b>CHAPITRE 1</b>	<b>Fluide - Filtration - Canalisations - Réservoir</b>	<b>1</b>
1. GÉNÉRALITÉS SUR LE COMPORTEMENT D'UN FLUIDE EN CIRCULATION À L'INTÉRIEUR D'UNE CONDUITE _____ 1		
1.1	Introduction _____	1
1.2	Définition de la viscosité _____	2
1.2.1	Viscosité dynamique _____	2
1.2.2	Viscosité cinématique _____	3
1.2.3	Viscosité Engler, Redwood, Saybolt _____	3
1.3	Régimes d'écoulement _____	3
1.3.1	Nombre de Reynolds _____	3
1.3.2	Régime laminaire _____	4
1.3.3	Régime turbulent _____	4
1.3.4	Régime incertain _____	4
1.4	Pertes de charge _____	4
1.4.1	Pertes de charge systématiques _____	5
1.4.2	Pertes de charge singulières _____	8
2. FLUIDE HYDRAULIQUE POUR TRANSMISSION DE PUISSANCE HYDROSTATIQUE ET HYDRODYNAMIQUE _____ 9		
2.1	Différents types d'huiles hydrauliques _____	9
2.1.1	Huile minérale _____	10
2.1.2	Huile de synthèse et produits aqueux _____	10
2.2	Caractéristiques des huiles hydrauliques _____	11
2.2.1	Viscosité _____	11
2.2.2	Variation de volume _____	13
2.2.3	Autres caractéristiques _____	14
2.3	Désignations normalisées des huiles hydrauliques _____	16
2.3.1	Normes ISO ASTM _____	16
2.3.2	Classification N.F.F. 48603 _____	17
2.3.3	Exemple de performances _____	17
2.4	Vidange d'une installation hydraulique _____	18
3. LA FILTRATION _____ 18		
3.1	Nécessité _____	18
3.2	Classification de l'état de pollution d'un fluide hydraulique _____	19
3.3	Conséquences d'une mauvaise filtration _____	19
3.4	Contrôle du niveau de pollution _____	19
3.4.1	Introduction _____	19
3.4.2	Contrôle qualitatif _____	20
3.4.3	Contrôle quantitatif _____	20
3.5	Techniques de filtration _____	21
3.6	Présentation particulière des filtres à tamisage _____	21
3.6.1	Efficacité et degré de rétention d'un filtre à tamisage _____	21
3.6.2	Localisation des filtres à tamisage sur un circuit _____	22
3.6.3	Description d'un filtre à tamisage _____	23

4	RÉSERVOIR ET CANALISATIONS	25
4.1	Réservoir	25
4.1.1	Fonction	25
4.1.2	Description	26
4.2	Canalisations	29
4.2.1	Introduction	29
4.2.2	Canalisations rigides	29
4.2.3	Canalisations souples	31
A SAVOIR		33

## CHAPITRE 2 Les pompes volumétriques. Énoncé des principes 37

1.	GÉNÉRALITÉS	37
1.1	Notations	37
1.2	Description	37
1.3	Fonction	38
1.3.1	Fonction d'un point de vue énergétique	38
1.3.2	Fonction d'un point de vue technologique	39
1.4	Situation	39
1.4.1	Premier cas : mise en mouvement d'un récepteur linéaire (vérin)	39
1.4.2	Deuxième cas : mise en mouvement d'un récepteur rotatif (moteur hydraulique)	39
1.5	Débit variable - Débit constant	41
1.6	Un sens de flux - Deux sens de flux	41
2.	PRINCIPES MIS EN ŒUVRE	41
2.1	Pompes à pistons axiaux (ou pompes à barillet)	42
2.1.1	Première configuration	42
2.1.2	Deuxième configuration	42
2.1.3	Troisième configuration	42
2.1.4	Quatrième configuration	43
2.1.5	Cinquième configuration	43
2.2	Pompes à pistons radiaux	44
2.2.1	A système bielle/manivelle	44
2.2.2	A excentrique	44
2.2.3	A bloc-cylindres excentré	45
2.2.4	A pistons en ligne	45
2.3	Pompes à palettes	46
2.4	Pompes à engrenages	46
2.5	Pompes à vis	46
2.6	Pompes à élément tubulaire déformable (ou pompe péristaltique)	47
3.	GRANDEURS ASSOCIÉES AUX POMPES VOLUMÉTRIQUES	47
3.1	Cylindrée	47
3.2	Débit moyen théorique ( $q_{v\text{ moy}}$ )	47
3.3	Débit instantané	47
3.4	Coefficient d'irrégularité	48
3.5	Rendements	48
3.5.1	Rendement volumétrique	48

3.5.2 Rendement mécanique	51
3.5.3 Rendement global	52
3.6 Couple à appliquer sur l'arbre d'entraînement	53
<b>4 LES POMPES A PISTONS AXIAUX ET RADIAUX - IRREGULARITE DU DEBIT INSTANTANE</b>	<b>53</b>
4.1 Introduction	53
4.2 Expression analytique du débit instantané théorique pour les pompes à pistons axiaux	54
4.2.1 Paramétrage	54
4.2.2 Course du piston	54
4.2.3 Vecteur position d'un point du piston	54
4.2.4 Vitesse linéaire du piston	54
4.2.5 Débit instantané théorique	55
4.3 Expression analytique du débit instantané théorique pour les pompes à pistons radiaux	56
4.3.1 Différents systèmes de transformation de mouvement	56
4.3.2 Cas du système bielle/manivelle (ou bielle/excentrique)	57
4.3.3 Cas du système à excentrique et plateau	58
4.4 Synthèse des résultats. Représentation graphique du débit instantané théorique	59
4.5 Détermination graphique du coefficient d'irrégularité	61
4.5.1 Expression du débit moyen théorique pour les pompes à pistons	62
4.5.2 Détermination graphique des débits instantanés maximal $q_{vM}$ et minimal $q_{vm}$	62
4.5.3 Valeur du coefficient d'irrégularité	64
<b>5. LES AUTRES TYPES DE POMPES</b>	<b>65</b>
5.1 Pompe à palettes	66
5.1.1 A excentrique à cylindrée variable ou non	66
5.1.2 A came (cylindrée constante)	70
5.2 Pompes à engrenages	71
5.2.1 A engrenages extérieurs (profil en développante de cercle)	71
5.2.2 A engrenages intérieurs (profil en développante de cercle)	74
5.2.3 A engrenages intérieurs (profils circulaires)	74
5.3 Pompe à vis	76
5.3.1 Description	76
5.3.2 Fonctionnement	77
5.3.3 Cylindrée	78
5.3.4 Débit moyen théorique	79
5.4 A élément tubulaire déformable (ou péristaltique)	79
5.4.1 Description	79
5.4.2 Fonctionnement	80
5.4.3 Cylindrée	80
5.4.4 Débit moyen théorique	80
<b>A SAVOIR</b>	<b>81</b>

---

## **CHAPITRE 3 Les pompes. Réalisations** **85**

<b>1. GENERALITES</b>	<b>85</b>
1.1 Fuites internes	85
1.2 Lubrification	86
1.3 Phénomène de cavitation	87
1.4 Niveau sonore	87

2. POMPES A PISTONS AXIAUX (OU A BARILLET)	88
2.1 Présentation générale	88
2.2 Dispositions constructives	89
2.2.1 Descriptif des organes principaux	89
2.2.2 Conception des liaisons	89
2.2.3 Conception des étanchéités	89
2.2.4 Particularités	90
2.3 Autres réalisations	92
2.3.1 Pompe à axes brisés, à cylindrée constante	92
2.3.2 Pompe à axes alignés, à cylindrée variable	92
2.3.3 Pompe à axes alignés, à cylindrée constante	93
2.3.4 Application particulière d'une pompe et d'un moteur à pistons axiaux à la réalisation d'un variateur hydraulique	94
2.4 Renseignements complémentaires	96
2.4.1 Débit de fuite	96
2.4.2 Courbes caractéristiques	97
3. POMPES À PISTONS RADIAUX	98
3.1 Présentation générale	98
3.2 Dispositions constructives	98
3.2.1 Descriptif des organes principaux	98
3.2.2 Conception des liaisons	99
3.2.3 Conception des étanchéités	99
3.3 Autres réalisations	101
3.3.1 Pompe à excentrique, à bloc-cylindres fixe	101
3.3.2 Pompe à bloc-cylindres tournant excentré	102
3.3.3 Pompe en ligne	104
3.4 Débit de fuite	105
4. POMPES A PALETTES	105
4.1 Présentation générale	105
4.2 Dispositions constructives	106
4.2.1 Problème particulier posé par le contact (palettes → stator)	106
4.2.2 Exemples de réalisations	108
4.3 Application particulière d'une pompe et d'un moteur hydrauliques à palettes à la réalisation d'un variateur de vitesse	109
5. POMPES A ENGRENAGES	111
5.1 Présentation générale des pompes à engrenages à denture droite extérieure	111
5.2 Dispositions constructives	111
5.2.1 Conception des liaisons	111
5.2.2 Conception des étanchéités	112
5.3 Autres réalisations	113
5.3.1 Pompes à engrenages intérieurs, à denture droite	113
5.3.2 Pompe à engrenages extérieurs, à denture hélicoïdale	114
5.3.3 Pompes à engrenages intérieurs, denture à profil circulaire ou pompe "Orbitol"	115
5.3.4 Pompes à engrenages particuliers	116
6. POMPES A VIS	116
6.1 Présentation générale	116
6.2 Dispositions constructives	117
6.2.1 Descriptif des organes principaux	117
6.2.2 Conception des liaisons	117
6.2.3 Conception des étanchéités	117
6.3 Autres réalisations	119

6.3.1	Pompe à deux vis à filets inversés	119
6.3.2	Pompe à trois vis	120
6.3.3	Pompe à vis particulière	121
6.4	Renseignements complémentaires	121
6.4.1	Débit de fuite	121
6.4.2	Sens de montage	122
7.	POMPES A ELEMENT TUBULAIRE DEFORMABLE, OU POMPES PERISTALTIQUES	122
7.1	Présentation générale	122
7.2	Dispositions constructives	123
7.2.1	Descriptif des organes principaux	123
7.2.2	Conception des liaisons	123
7.3	Autres réalisations : pompe comportant deux galets	125
8.	POMPES A PISTONS A COMMANDE MANUELLE	125
8.1	Pompe monocylindre simple effet	125
8.2	Pompe monocylindre double effet	127
8.3	Pompe bicylindre simple effet	128
A SAVOIR		130

## **CHAPITRE 4 Les vérins hydrauliques. Enoncé des principes** 133

1.	GENERALITES	133
1.1	Description	133
1.2	Fonction	134
1.3	Rendements	135
1.3.1	Rendement volumétrique	135
1.3.2	Rendement mécanique	135
2.	PRESENTATION DES VERINS D'APPLICATIONS COURANTES	136
2.1	Classification	137
2.1.1	Vérin simple effet à rappel par ressort	137
2.1.2	Vérin double effet simple	137
2.1.3	Vérin double effet différentiel	137
2.1.4	Vérin double effet à deux tiges	137
2.1.5	Vérin télescopique	138
2.1.6	Vérin rotatif	139
2.2	Cas particulier du vérin différent différentiel	141
2.3	Schémas d'installation de base	143
2.3.1	Schéma d'installation pour un vérin simple effet	143
2.3.2	Schéma d'installation d'un vérin double effet	144
3.	RAIDEUR D'UN VERIN	145
3.1	Introduction	145
3.2	Compressibilité du fluide	145
3.3	Expression de la raideur	146
3.4	Exemple de calcul	146
3.4.1	Dimensionnement initial du vérin	147

3.4.2	Raideur du vérin initial	147
3.4.3	Variation de position de la tige du vérin pour un dépassement accidentel de la charge	147
3.4.4	Dimensionnement final du vérin	148
3.5	Conclusion	148
4.	ETUDE DYNAMIQUE	148
4.1	Introduction	148
4.2	Paramétrage et hypothèses de calculs	149
4.3	Equation de débit	150
4.4	Etude du démarrage	150
4.4.1	Première phase : mise en pression du circuit, sans déplacement de la tige du vérin	150
4.4.2	Deuxième phase : mise en mouvement de la tige du vérin	151
4.4.3	Troisième phase : mouvement uniformément accéléré de la tige	154
4.5	Synthèse des résultats. Conclusions.	155
4.5.1	Remarque concernant les durées des deux premières phases	155
4.5.2	Relation entre le débit $Q$ de la pompe et la pression de tarage $p_0$ du limiteur de pression	155
5.	AMORTISSEMENT DE FIN DE COURSE	157
5.1	Introduction	157
5.2	Principe de fonctionnement d'un amortisseur de fin de course	157
5.2.1	Dispositif d'amortissement sans réglage	158
5.2.2	Dispositif d'amortissement avec réglage	159
6.	FLAMBAGE DE LA TIGE	159
6.1	Théorie d'Euler	160
6.1.1	Configurations d'installation d'un vérin	160
6.1.2	Charge critique d'Euler	161
6.1.3	Diamètre de la tige	162
6.2	Application de la théorie d'Euler à la détermination approchée d'une tige de vérin	163
6.2.1	Calcul	163
6.2.2	Détermination graphique	163
A SAVOIR		165
<b>CHAPITRE 5 Les vérins hydrauliques. Réalisations</b>		<b>169</b>
1.	PROBLEME DE L'ETANCHEITE	169
1.1	Introduction	169
1.2	Problème de l'extrusion des joints toriques	171
1.3	Etanchéité par presse-étoupe	172
1.4	Etanchéité par joints de formes diverses	172
1.5	Joint racleur	173
1.6	Segments de guidage	173
2.	MATERIAUX - TRAITEMENTS	173
3.	VERINS HYDRAULIQUES LINEAIRES POUR APPLICATIONS COURANTES	174
3.1	Vérin simple effet	174

3.2	Vérin double effet sans amortissement	176
3.3	Vérin double effet avec amortissement	176
3.4	Vérin télescopique	178
4.	VERINS HYDRAULIQUES LINEAIRES POUR APPLICATIONS PARTICULIERES	181
4.1	Vérin pousseeur	181
4.1.1	Vérin pousseeur portable	181
4.1.2	Vérin pousseeur "galette"	181
4.1.3	Vérin pousseeur "cube"	182
4.1.4	Vérin pousseeur à pattes en appui axial	182
4.1.5	Vérin pousseeur à doigts en appui radial	183
4.2	Vérin tireur	184
4.2.1	Vérin tireur simple	184
4.2.2	Vérin tireur pivotant simple	184
4.2.3	Vérin tireur pivotant à verrouillage	185
4.3	Vérins particuliers	185
4.3.1	Vérin particulier à piston creux	185
4.3.2	Vérin particulier monte-charge	186
5.	VERINS HYDRAULIQUES ROTATIFS	187
5.1	Vérin hydraulique rotatif à crémaillère	187
5.2	Vérin hydraulique rotatif à palette	189
5.3	Vérin rotatif à système vis-écrou	190
A SAVOIR		192

---

## CHAPITRE 6 Les moteurs hydrauliques. Principes et réalisations 193

1.	GENERALITES	193
1.1	Notations	193
1.2	Fonction d'un moteur hydraulique	194
1.2.1	Fonction d'un point de vue énergétique	194
1.2.2	Fonction d'un point de vue technologique	194
1.3	Performances	194
1.3.1	Moment du couple moyen théorique	194
1.3.2	Vitesse angulaire théorique	195
1.3.3	Rendements	195
1.4	Différents types de moteurs hydrauliques et configurations d'installation	197
2.	CLASSIFICATION ET PRINCIPES MIS EN ŒUVRE	198
2.1	Les moteurs-pompes	198
2.1.1	Moteurs-pompes à pistons axiaux (ou à barillet)	198
2.1.2	Moteurs-pompes à pistons radiaux	200
2.1.3	Moteurs-pompes à engrenages (profil en développante de cercle), et à palettes	201
2.2	Les moteurs lents à came et galets, à pistons radiaux	201
2.2.1	Introduction	201
2.2.2	Description	201
2.2.3	Fonctionnement	202
2.2.4	Différentes architectures	205
2.3	Les moteurs lents à came et billes	207

2.3.1	Description	207
2.3.2	Fonctionnement	208
2.4	Les moteurs lents à engrenages intérieurs (à profil cylindrique), à simple contact	208
2.4.1	Description	208
2.4.2	Fonctionnement	209
2.5	Les moteurs lents à engrenages intérieurs (à profil cylindrique), à double contact	209
2.5.1	Description	209
2.5.2	Fonctionnement	209
3.	COUPLE DISPONIBLE SUR L'ARBRE D'UN MOTEUR HYDRAULIQUE (MOTEURS-POMPES ET MOTEURS LENTS)	211
3.1	Expression du moment du couple moyen réel disponible sur l'arbre des moteurs-pompes hydrauliques	211
3.2	Expression du moment du couple instantané théorique disponible sur l'arbre des moteurs-pompes à pistons axiaux ou radiaux	212
3.2.1	Introduction	212
3.2.2	Expression du moment du couple instantané théorique	212
3.3	Expression du moment du couple instantané théorique disponible sur l'arbre des moteurs lents, à pistons radiaux et galets sur came	214
3.3.1	Remarque concernant l'irrégularité du couple instantané	214
3.3.2	Couple instantané pour un piston	215
3.3.3	Moment du couple instantané théorique pour n pistons	215
3.3.4	Détermination du profil de came	217
4.	DISPOSITIONS CONSTRUCTIVES ET PERFORMANCES	219
4.1	Les moteurs-pompes	219
4.1.1	Moteur à pistons axiaux, à cylindrée variable	219
4.1.2	Moteurs à pistons radiaux	221
4.2	Moteurs lents à pistons	225
4.2.1	A pistons radiaux, came et galets	225
4.2.2	A pistons axiaux, came et billes	231
4.3	Moteurs lents à engrenage intérieur (à profil cylindrique)	232
4.3.1	A simple contact	232
4.3.2	A double contact	236
A SAVOIR		237